

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

_____ **Владислав ШЛИКОВ**
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« ____ » _____ 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою Клінічна інженерія
(назва)

спеціальності 163 Біомедична інженерія
(код та назва)

на тему: Електромагнітний опромінювач щитоподібної залози

Виконала: студентка 4 курсу, групи БМ-62
(шифр групи)

_____ **Тертишна Світлана Олексіївна**
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ **доцент кафедри БМІ, к.т.н Зубчук Віктор Іванович**
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант 6 **доцент кафедри ОПЦБ, к.т.н Демчук Гліб Вікторович**
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Нормоконтроль ст. викл. каф. БМІ Юр'єва Катерина Олександрівна
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент _____ **ст. викл. каф. ТМБ, к.т.н. Луценко Т. М.**
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут)	<u>Біомедичної інженерії</u>
Кафедра	<u>Біомедичної інженерії</u>
Рівень вищої освіти	<u>Перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>163 Біомедична інженерія</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Клінічна інженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Тертишної Світлани Олексіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електромагнітний опромінювач щитоподібної залози

керівник роботи Зубчук Віктор Іванович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1191-с

2. Термін подання студентом роботи 08.06.2020

3. Вихідні дані до роботи патології щитоподібної залози, гіпотиреоз, методи терапії, вплив магнітного поля.

4. Зміст роботи аналітичний огляд літератури, вибір методу, формування блок схеми опромінювача, вдосконалення підсилювача сигналу, вибір індуктора, розрахунок параметрів індуктора, моделювання аналогової частини.

5. Перелік ілюстративного матеріалу презентація у Power Point

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
6	Демчук Г.В. к.т.н., доцент кафедри ОПЦБ		

7. Дата видачі завдання 21.05.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз літературних джерел	24.04.2020	
	Розрахунок основних параметрів котушки індуктивності	08.05.2020	
	Моделювання блоку генерації	29.05.2020	
	Оформлення розділу з «Охорони праці».	05.06.2020	
	Оформлення дипломної роботи	05.06.2020	
	Отримання рецензії та відгуку	08.06.2020	
	Здача роботи на нормоконтроль	08.06.2020	
	Подання супровідних документів	08.06.2020	
	Захист дипломної роботи	15.06.2020	

Студент

(підпис)

Світлана ТЕРТИШНА

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Віктор ЗУБЧУК

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Обсяг дипломної роботи становить 60 сторінок, 20 ілюстрацій та 17 таблиць. Загалом опрацьовано 12 джерел.

Мета: вдосконалення опромінювача щитоподібної залози електромагнітним полем методом вибору індуктора та розрахунку його параметрів на основі даних про щитоподібну залозу та доведення ефективності у використанні імпульсного аналого-цифрового формувача струму індукторів у порівнянні із вже існуючих підсилювачів, що використовуються в апаратах магнітотерапії

Результати роботи: на основі даних про метод магнітотерапії сформовано блок-схему опромінювача щитоподібної залози, визначено характеристики магнітного поля; вибрано індуктор та обраховано його основні параметри з урахуванням положення щитоподібної залози; розглянуто імпульсний аналого-цифровий формувач струму індукторів, описано його роботу та численно доведено його перевагу; змодельовано аналогова частина опромінювача в програмному середовищі Electronics Workbench, сформовано сигнали на різних етапах генерації.

Ключові слова: щитоподібна залоза, гіпотиреоз, магнітне поле.

SUMMARY

The volume of the thesis is 60 pages, 20 illustrations and 17 tables. In total 12 sources were processed.

Objective: to improve the thyroid irradiator with an electromagnetic field by selecting an inductor and calculating its parameters based on thyroid data and proving the effectiveness of using a pulsed analog-digital inductor current generator compared to existing amplifiers used in magnetore devices

Results of work: on the basis of data on a method of magnetic therapy the block diagram of an irradiator of a thyroid gland is formed, characteristics of a magnetic field are defined; the inductor is selected and its basic parameters are calculated taking into account the position of the thyroid gland; the pulse analog-digital current generator of inductors is considered, its work is described and its advantage is proved numerically; the analog part of the irradiator in the Electronics Workbench software environment is modeled, signals at different stages of generation are generated.

Key words: thyroid gland, hypothyroidism, magnetic field.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ПОШИРЕНІСТЬ ГІПОТИРЕОЗУ ТА МЕТОДИ ТЕРАПІЇ ПАТОЛОГІЇ.....	11
1.1 Поширеність патологій щитоподібної залози в Україні	11
1.2 Методи лікування та терапії гіпотиреозу.....	12
1.2.1 Замісна монотерапія левотироксином.....	12
1.2.2 Замісна комбінована терапія ліотироніном та левотироксином.....	13
1.2.3 Лікування гіпотиреозу електромагнітним полем низької частоти ...	14
Висновки до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2 БЛОК-СХЕМА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ОПОРОМІНЮВАЧА ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ	16
2.1 Принцип роботи та блок-схема опромінювача.....	16
Висновки до розділу 2	17
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ІНДУКТОРА І РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ	18
3.1. Визначення розміру локалізації випромінювання	18
3.2. Вибір індуктора	18
3.3. Розрахунок параметрів котушки індуктивності	21
Висновок до розділу 3.....	26
РОЗДІЛ 4 ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИЛЕННЯ СИГНАЛУ, ЩО НАДХОДИТЬ ДО ІНДУКТОРА	27
4.1 Ключовий режим роботи транзисторів кінцевого каскаду	27

					БМ62.11.2505.1191			
Вим		№ докум.		Дата				
Розробив	Тертишина С.О.				Електромагнітний опромінювач щитоподібної залози	Літ.		
Перевірів	Зубчук В.І.						6	60
Реценз.	Луценко Т. М.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБМІ БМ-62		
Н. Контр.	Юр'єва К.О.							
Затвердив	Шликов В.В.							

Висновок до розділу 4.....	41
РОЗДІЛ 5 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОПРОМІНЮВАЧА В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	42
5.1 Формування генератору лінійно-змінюючої напруги	42
5.2 Блок перемикачів режиму.....	44
5.3 Задаючий генератор	46
Висновок до розділу 5.....	51
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	52
6.1 Характеристики приладу, що проектується.....	52
6.2 Характер взаємодії приладу в системі «людина – об’єкт»	53
6.3 Електромагнітні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів	54
6.4. Небезпека ураження електричним струмом	55
Висновки до розділу 6	56
ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	59

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БВС – блок вибору сигналу

ПЗП – постійно запам'ятовувальний пристрій

ОП – операційний підсилювач

ЩЗ – щитоподібна залоза

МП – магнітне поле

ТТГ – тиреотропний гормон

ККД – коефіцієнт корисної дії

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						8
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Станом на сьогоднішній день є актуальним питання збільшення поширеності захворювань щитоподібної залози у всьому світі. Беручи до уваги екологічну ситуацію дане питання стає все гострішим в Україні. В середньому кількість патологій ендокринної системи, а саме щитоподібної залози за останні 5 років за даними МОЗ, зросла в 5 разів. [1]

За останнє десятиліття гіпотиреоз мав найбільший приріст поширеності у 112,4% серед інших тиреоїдних патологій в Україні. Тому вдосконалення методів лікування та терапії даного захворювання є актуальними. [2]

Наразі єдиним стандартизованим методом терапії гіпотиреозу є замісна монотерапія левотироксином. Проаналізувавши даний метод можна зробити висновки про те, що терапія має слабкий лікувальний ефект і направлена більше на підтримання стану перебігу гіпотиреозу в межах допустимих норм. Цей метод не є можливий у використанні для всіх пацієнтів і має багато факторів ризику зменшення або повної відсутності ефективності.

Лікування гіпотиреозу електромагнітним полем низької частоти передбачає у собі корекцію гіпофункції щитоподібної залози за рахунок опромінення електромагнітним полем зону залози в режимі доз, що підвищують функцію і продукцію її гормонів. Результати клінічних досліджень показують перспективу у можливості ефективного лікування залози без подальшого прийому замісних препаратів. Для даної процедури нині використовуються загальні апарати магнітотерапії. Тому є доцільним питання удосконалення електромагнітного опромінювача за рахунок збільшення коефіцієнта корисної дії імпульсного формувача струму індукторів в підсилювачі та вибору індуктора та розрахунок його параметрів за основі вимог до щитоподібної залози.

Метою дипломного проекту є удосконалення електромагнітного опромінювача за рахунок збільшення коефіцієнта корисної дії імпульсного формувача струму індукторів в підсилювачі та вибору індуктора та розрахунок його параметрів за основі вимог до щитоподібної залози.

Задачі:

- Аналітичний огляд літератури
- Опис блок-схеми приладу
- Вибір індуктора та розрахунок його основних параметрів
- Вдосконалення блоку підсилення
- Моделювання аналогової частини опромінювача

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						10
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ПОШИРЕНІСТЬ ГІПОТИРЕОЗУ ТА МЕТОДИ ТЕРАПІЇ ПАТОЛОГІЇ

1.1 Поширеність патологій щитоподібної залози в Україні

В Україні за останні десять років спостерігалась динаміка збільшення патологій щитоподібної залози, а саме тиреоїдної.

За даними звітів закладів Київської області за 2007-2017 рр., у структурі неонкологічної тиреоїдної патології часта тиреоїдитів зростає з 8,2 до 11,2% (приріст +36,6%), гіпотиреозу – з 3,1 до 4,6 % (+48,4 %), гіпертиреозу — з 1,8 до 2,1 % (приріст +16,7 %). В Україні в структурі захворювань ЩЗ тиреоїдити на сьогодні становлять 13,8 %, гіпотиреоз — 7,5 %, гіпертиреоз — 4,1 %. Стандартизований показник поширеності різних видів неонкологічної тиреоїдної патології на 100 тис. населення (рис. 1.1) за 2007–2017 рр. змінився так: поширеність тиреоїдитів зростає в 1,9 разів, гіпотиреозу — у 2,1 разів, гіпертиреозу — у 1,7 разів. [2]

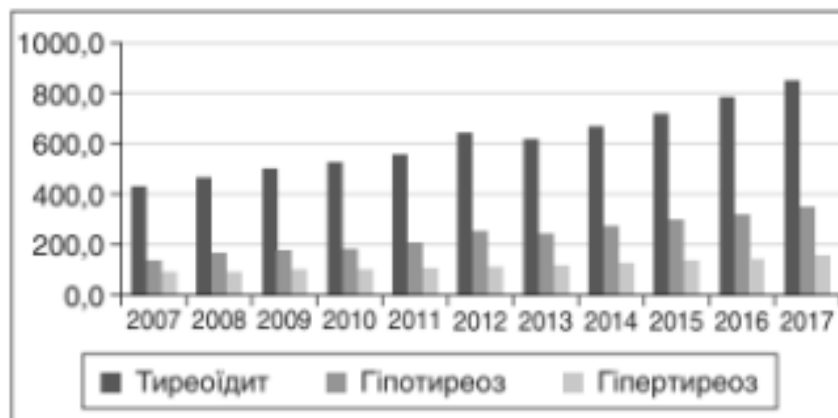


Рисунок 1.1 – Динаміка поширеності захворювань ЩЗ по Україні за 2007–2017 роки (на 100 тис. населення)

Приріст поширеності тиреоїдної патології за останнє десятиріччя становив: тиреоїдитів — 93,7%, гіпотиреозу — 112,4%, гіпертиреозу — 68,1%. Саме тому питання вдосконалення методів лікування та терапії гіпотиреозу в Україні стає більш гострішим.[2]

1.2 Методи лікування та терапії гіпотиреозу

1.2.1 Замісна монотерапія левотироксином

Левотироксин (LT4) використовується як препарат для лікування гіпотиреозу. Доведена його ефективність, є великий досвід використання, сприятливі показники у сфері побічних ефектів, простота призначення та доступність.

На сьогодні монотерапія LT4 залишається єдиним стандартом лікування в Україні. Задачами препарату замісної терапії є зменшення проявів симптомів гіпотиреозу, нормалізація рівня ТТГ та уникнення передозування. Метод замісної терапії левотироксином є позитивним для пацієнтів з гіпотиреозом.[3]

Проте спірним нині вважається питання правильного визначення добової дози. Загально прийнятим вважають дозу 1,6-1,8 мкг/кг фактичної маси тіла, проте на ефективність дози впливає також вік пацієнта, наявність супутніх захворювань, що включають в себе прийом додаткових препаратів. Беручи до уваги факт важкості визначення правильної дози для кожного пацієнта індивідуально актуальним стає питання можливої недостатності препарату або передозування, що в обох випадках несе за собою низку побічних ускладнень.

На перебіг лікування також впливає режим прийому препарату. Дослідження показали, що дотримання суворого режиму є складним для більшості пацієнтів, що є фактором зниження його ефективності.

Не дивлячись на те, що даний метод є стандартним для лікування він не є універсальним для всіх пацієнтів. Окрім діючої речовини LT4 готовий препарат до вживання має додаткові наповнювачі, наприклад, «Еутирокс» включає лактозу. Беручи до уваги світову тенденцію до поширення розвитку

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						12
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

гіполактазії, нині в Україні наявність даного порушення присутня у близько 40% всього населення. Не виключенням стали пацієнти з наявним гіпотиреозом. На заміну даному препарату таким пацієнтам призначають безлактозну форму LT4 – препарат «L-ТИРОКСИН БЕРЛІН-ХЕМІ». Даний препарат має широку популярність навіть серед пацієнтів без наявної гіполактазії. Проте в 2019 році в Україні були зафіксовані масові випадки підробки даного препарату де була відсутня головна діюча речовина, що зумовило погіршення стану гіпотиреозу у великої частини пацієнтів.[4]

Беручи до уваги вище описані факти слід зазначити, що метод замісної терапії має слабкий лікувальний ефект і направлений більше на підтримання рівня ТТГ в межах допустимих значень. Також нині використання даного методу лікування є не можливим для частини пацієнтів з гіпотиреозом через наявні супутні порушення організму та захворювання.

1.2.2 Замісна комбінована терапія ліотироніном та левотироксином

Даний метод є альтернативою до методу замісної монотерапії LT4 для пацієнтів яким не достатньо T3 в організмі. Комбінована терапія також направлена більше на підтримання рівня ТТГ в організмі людини у межах норми.[5] Але все таки даний метод є експериментальним. Для його стандартизації і можливості довготривалого клінічного використання потрібно провести дослідження використання ліотироніну (LT3) тривалої дії.

1.2.3 Лікування гіпотиреозу електромагнітним полем низької частоти

Даний метод передбачає у собі корекцію гіпофункції ЩЗ за рахунок опромінення електромагнітним полем зону залози в режимі доз, що підвищують функцію і продукцію гормонів ЩЗ. Опромінення ЩЗ здійснюється відповідним апаратом для магнітотерапії шляхом накладання випромінювача на ділянку шиї пацієнта.[6] Беручи до уваги результати дослідження проведених у Дніпропетровській медичній академії у 2012 році було встановлено покращення стану пацієнтів з гіпотиреозом вже після першого курсу лікування. Також визначалося поступове зменшення прийому замісної гормотерапії у всіх пацієнтів, а після третього курсу проведення лікування у 20% хворих було відмінено прийом препаратів за рахунок повної нормалізації функцій ЩЗ.[7]

Також слід зазначити, що було присутнє прогресивне зменшення прояву гіпотиреозу через місяць після закінчення курсу лікування. Це може свідчити про те, що залоза не тільки була стимульована на збільшення продукції гормонів, а і про те що вона поступову нормалізує свої функції.

Даний метод є експериментальним, результати досліджень показують перспективу не тільки у терапії ЩЗ, а і у можливості її ефективного лікування без подальшої терапії замісними препаратами.

Висновки до розділу 1

На разі в Україні відбувається тенденція до збільшення випадків захворювання в ендокринній системі. Найбільшим потенціалом до зростання нині володіє гіпотиреоз.

Результати багатьох досліджень показали, що стандартизований метод терапії має тенденцію до зниження ефективності терапії та її неможливість для окремих груп пацієнтів з гіпотиреозом. Замісна моно та комбінована терапії мають свої суттєві недоліки та направлені на зменшення симптомів гіпотиреозу. В свою чергу метод лікування гіпотиреозу електромагнітним полем низької частоти має перспективи саме в лікуванні гіпотиреозу без використання подальшої замісної терапії.

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						15
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

БЛОК-СХЕМА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ОПОРОМІНЮВАЧА ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ

2.1 Принцип роботи та блок-схема опромінювача

На рисунку 2.1 приведена блок-схема електромагнітного опромінювача щитоподібної залози.

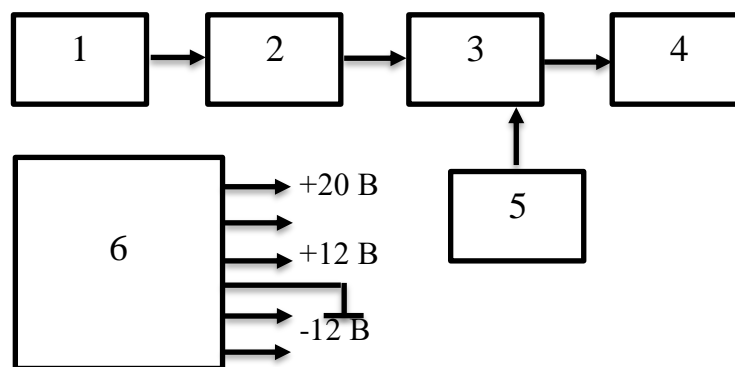


Рисунок 2.1 – Блок-схема системи магнітотерапії

Вона складається з блоку генерації сигналу 1, блоку вибору сигналу 2, блоку підсилення 3, індуктора 4, блоку моніторингу 5 та блоку живлення 6.

Вихідні імпульси з боку генерації надходять до блоку вибору сигналу (БВС), який представляє собою постійно запам'ятовувальний пристрій (ПЗП) з ультрафіолетовим зтиранням. В БФС в цифровій формі закодовані різні форми сигналів. Цифрові коди з ПЗП переходять на цифроаналоговий перетворювач, на виході з якого формується потрібний сигнал для опромінення. Аналоговий сигнал з виходу БФС поступає на блок підсилення, який підсилює сигнал по потужності з навантаженням на індуктор, який перетворює його в магнітне поле визначеної форми, частоти та індукції. [8]

Блок моніторингу дозволяє візуально спостерігати за робочими параметрами частоти та індукції електромагнітного поля. Для встановлення тривалості процедури система забезпечена таймером, динаміком.

Даний принцип також використовується в апарату МС-92М (В. Зубчук, 2000). Проте дана система має недоліки.

В даній роботі окрему увагу буде приділено аналоговій частині опромінювача, а саме блоку генерації та підсилювачу.

Блок генерації складається з таких частин як генератор лінійно-змінюючої напруги, перемикача режиму та задаючий генератор. Блок підсилення буде вдосконалено використанням ключового режиму роботи транзисторів кінцевого каскаду.

Опромінення локалізоване на долю або культю ЩЗ.

Виходячи з вимог до опромінювача виділено такі параметри МП:

- Частота 5кГц – несуча.
- Модуляційний діапазон в частоті 10-100Гц
- 30 мТл – максимальна індукція МП

Висновки до розділу 2

В ході роботи було описано блок-схему, яка зображає принцип роботи електромагнітного опромінювача щитоподібної залози.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ІНДУКТОРА І РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1. Визначення розміру локалізації випромінювання

ЩЗ складається з двох долей: права і ліва, між ними перешийок. Розміри кожної долі становлять 2,5-4 см в довжину, 1,5-2 см в ширину і 1-1,5 см – товщини. На рис. 3.1 зображено положення ЩЗ.



Рисунок 3.1 – Розташування щитоподібної залози

Тому доцільно обрати діаметр опромінення магнітним полем розміром в 3-4 см.

3.2. Вибір індуктора

Котушка індуктивності має мати такі параметри як: незмінна індукція, величиною 30мТл, розмір 5-8 см.

Потрібно досягти незмінної індукції, для цього обираємо постійну котушку.

Щоб зменшити розмір котушки та при цьому досягти індуктивності необхідної величини надаємо перевагу котушці з магнітодіелектричним осердям.

За для збільшення індуктивності, ємності в котушку вводиться магнітне осердя. В свою чергу це також понижує стабільність температурну та змінює добротність.[9]

Сердечники П-подібної форми забезпечують потрібну напругу за умови малому споживанні потужності. (рис. 3.2) володіють високою магнітною проникністю, що дозволяє забезпечити необхідну напругу при низькому споживанні потужності. Це завдяки їх високій магнітній проникності. У виготовленні ці сердечники дешеві, як і їх окремі компоненти.

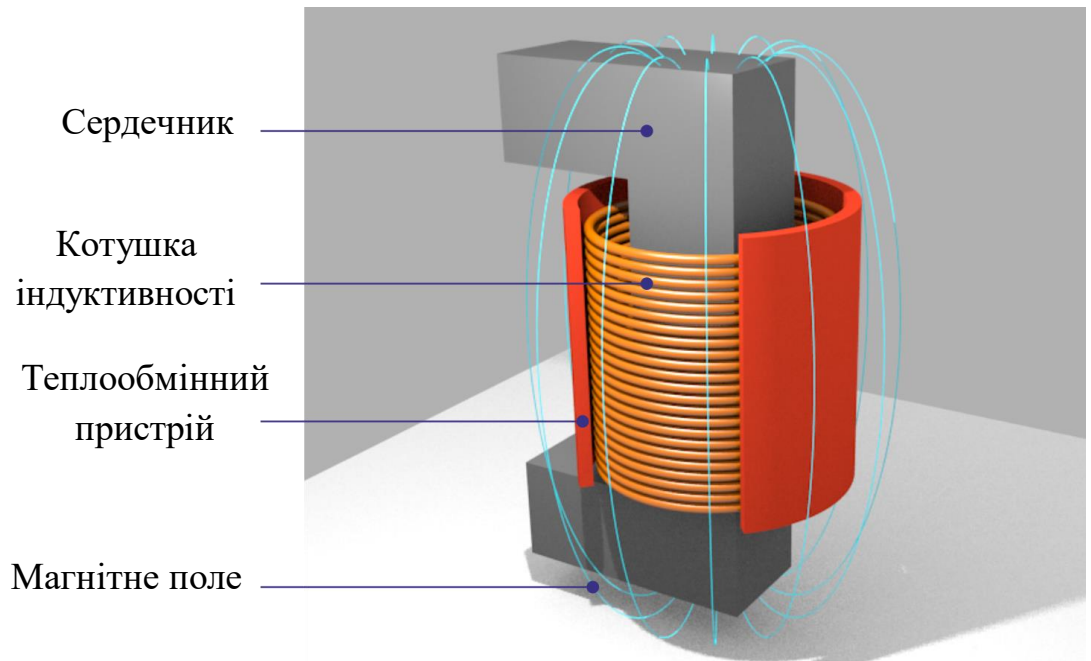


Рисунок 3.2 – Котушка з П-подібним осердям

Індуктивний ефект створює намотка. Використання між витками ізоляції спричиняє виникнення ємності. Цей фактор є негативним, тому його потрібно уникнути – звести до мінімум. За для цього створено різні способи намотки котушки.

Коли шарів намотки багато доцільно використати універсальні сполоти їх розміщення (рис. 3.3). ключовим фактором кожного способу є кут під яким перетинаються кожен шар намотки Завдяки цьому можливе зменшення ємності у котушці.[10]

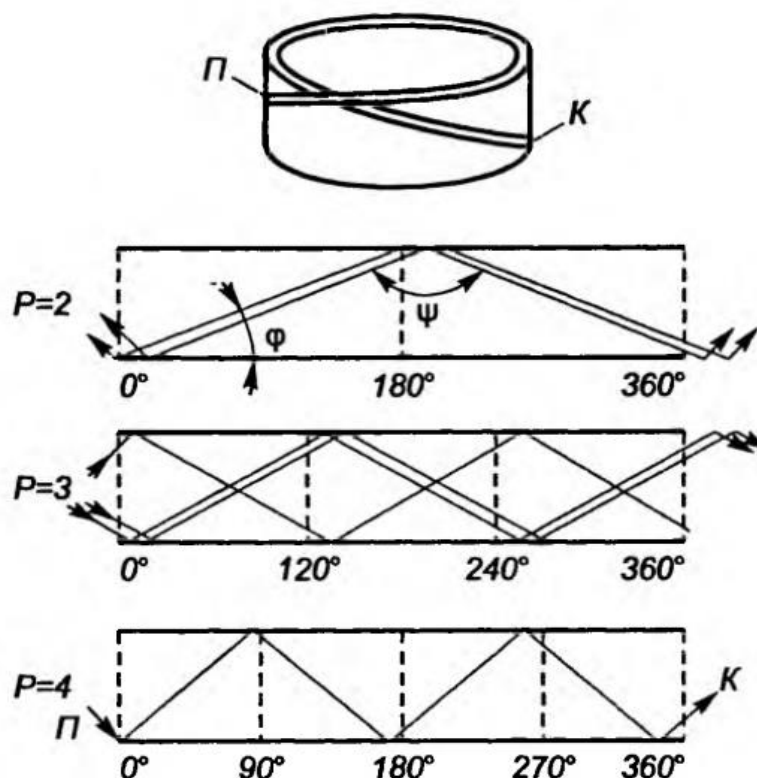


Рисунок 3.3 – Намотка універсальна: П – початок; К – кінець витка; ϕ – кут відхилення проводу; ψ – кут перетину проводу; p – кількість переходів

Для намотки частіше всього використовують провідники з міді або з посрібленої міді. Такі провідники додатково покривають ізоляцією.

За для досягнення мінімальної власної ємності рекомендують обрати шовкову ізоляцію на проводі з емалі.

3.3. Розрахунок параметрів котушки індуктивності

Для розрахунку було вибрано параметри котушки індуктивності UU2515 (рис. 3.4).

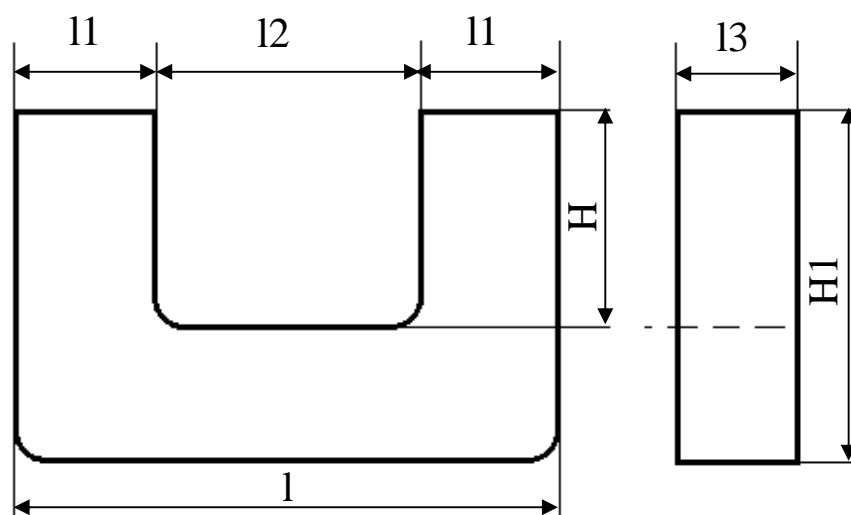


Рисунок 3.4 – Параметри П – подібного осердя

$$l = 25,4 \text{ мм}$$

$$l_2 = 14,5 \text{ мм}$$

$$l_1 = 5,45 \text{ мм}$$

$$l_3 = 7,5 \text{ мм}$$

$$H_1 = 4,7 \text{ мм}$$

$$H = 7,7 \text{ мм}$$

$$L = 30 \text{ мГн}$$

Кількість витків обраховується за виразами 2.1, 2.2:

$$L = \frac{\omega^2 \mu_0 \mu_r}{C_1} \quad (2.1)$$

де C_1 - перша постійна сердечника, яка дорівнює сумі відносин довжини однорідних по перетину ділянок сердечника до поперечного перерізу сердечника.

$$C_1 = \frac{2l_1 + l_4 + 2l_5}{S} \quad (2.2)$$

$$l_1 = 5,45 \text{ мм}$$

$$l_4 = 4 \cdot 4,7 = 18,8 \text{ мм}$$

$$l_5 = \frac{\pi}{4} (5,45 + 7,7 - 4,7) = 6,63 \text{ мм}$$

$$S = 7,5 \cdot 5,45 = 40,9 \text{ мм}^2$$

$$C_1 = 1050 \text{ м}^{-1}$$

$$\omega^2 = 2530$$

$$\omega = 50 \text{ витків}$$

Власна ємність котушки визначається за допомогою виразів 2.3 – 2.8:

$$C = \frac{\gamma D_{\text{сер}} l}{3p^2 t} \quad (2.3)$$

де C – власна ємність котушки;

γ – коефіцієнт, пропорційний діелектричній проникності ізоляції дроту;

D – діаметр котушки;

l – довжина дроту;

p – число переходів дроту;

t – радіальна глибина намотки

$$t = 2 p d_0 N_{\frac{\beta}{360}} \quad (2.4)$$

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						22
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де d_0 – діаметр дроту;

$N_{\text{ц}}$ – число циклів;

β – кутовий крок

$$N_{\text{ц}} = N(1 \pm \frac{\beta}{360}) \quad (2.5)$$

де N – кількість витків;

(+) відповідає намотці дроту з випередженням;

(-) відповідає намотці дроту з відставанням

$$\text{tg}\beta = \frac{2d_0}{D_0 \sin\varphi} \quad (2.6)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{lp}{D_0 \pi} \quad (2.7)$$

$$\text{tg}\varphi = 0,815$$

$$\sin\varphi = 0,61$$

$$\text{tg}\beta = 0,24$$

$$\beta = 12$$

$$p = 2$$

$$d_0 = 0,5 \text{ мм}$$

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_0 + D}{2} \quad (2.8)$$

$$D_0 = 7,5 \text{ мм}$$

$$D = 8,6 \text{ мм}$$

$$D_{\text{сер}} = 8,05$$

$$\gamma = 3,7 \text{ (дріт з емалевою ізоляцією)}$$

$$l = 14,5 \text{ мм}$$

$$N_u = 31,1$$

$$t = 2,25 \text{ мм}$$

$$C = 10,9 \text{ пФ}$$

Активний опір визначається за формулами 2.9 – 2.11:

$$R_f = R_0[F(z) + \left(\frac{KNd_0}{2D}\right)^2 G(z)] \quad (2.9)$$

де R_f – опір дроту котушки при частоті f ;

R_0 – омичний опір дроту;

d_0 – діаметр дроту в см;

D – діаметр котушки

K – коефіцієнт, що враховує вплив розмірів котушки на ефект близькості

Визначити величину коефіцієнта K можна за рис. 3.5.

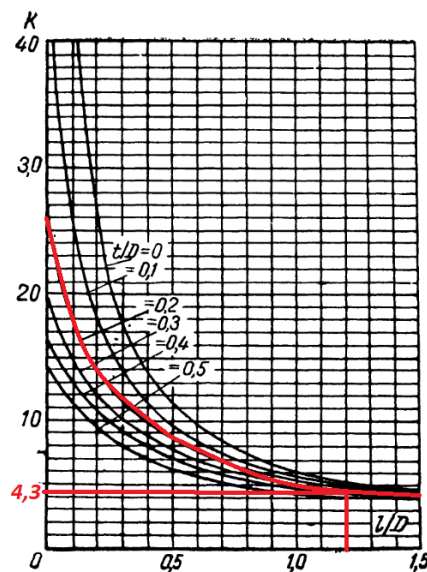


Рисунок 3.5– Графік значення коефіцієнта K для розрахунку опору багат шарової котушки

Коефіцієнт $F(z)$ визначає опір з врахуванням поверхневого ефекту, а коефіцієнт $G(z)$ враховує ефект близькості. Значення таких коефіцієнтів для мідного дроту визначається по таблиці (рис. 3.6) за допомогою параметра

$$z = 0,106d_0\sqrt{f} \quad (2.10)$$

$$f = 5 \text{ кГц}$$

$$z = 3,29$$

z	$F(z)$	$G(z)$
0,1	1,000	$\left. \begin{array}{l} z^4 \\ 64 \end{array} \right\}$
0,2	1,000	
0,3	1,000	
0,4	1,000	
0,5	1,000	
0,6	1,001	0,00097
0,7	1,001	0,00202
0,8	1,002	0,00373
0,9	1,003	0,00632
1,0	1,005	0,01006
1,1	1,008	0,01519
1,2	1,011	0,0220
1,3	1,015	0,0306
1,4	1,020	0,0413
1,5	1,026	0,0541
1,6	1,033	0,0691
1,7	1,042	0,0863
1,8	1,052	0,1055
1,9	1,064	0,1265
2,0	1,078	0,1489
2,1	1,094	0,1724
2,2	1,111	0,1967
2,3	1,131	0,2214
2,4	1,152	0,2462
2,5	1,175	0,2708
2,6	1,201	0,2949
2,7	1,228	0,3184
2,8	1,256	0,3412
2,9	1,286	0,3632
3,0	1,318	0,3844
3,1	1,351	0,4049
3,2	1,385	0,4247
3,3	1,420	0,4439
3,4	1,456	0,4626
3,5	1,492	0,4807
3,6	1,529	0,4987

Рисунок 3.6– Значення коефіцієнтів $F(z)$ і $G(z)$

$$R_0 = \frac{7D_{cp}N10^{-5}}{d_0} \quad (2.11)$$

$$R_0 = 0,04 \text{ Ом}$$

$$R_f = 0,23 \text{ Ом}$$

Величина діелектричних втрат (R_d) близьиться до 0.

Розрахунок добротності котушки (формула 2.12, 2.13):

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi f L}{R} \quad (2.12)$$

$$R = R_f + R_d \quad (2.13)$$

$$Q = 410,7$$

На рис. 3.7 зображена еквівалентна схема котушки індуктивності.

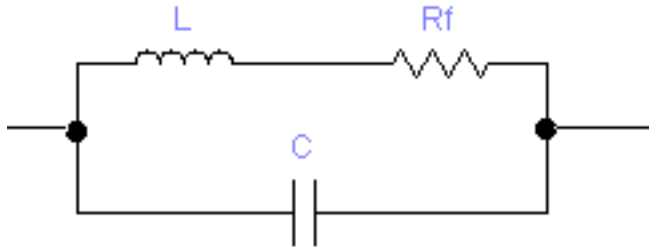


Рисунок 3.7– Еквівалентна схема котушки індуктивності

Резистор R_f емітує опір обмотки котушки, а конденсатор – паразитну ємність між витками та шарами обмотки.

Висновок до розділу 3

В ході роботи в даному розділі було обрано розмір локалізації впливу на щитоподібну залозу. Цей параметр взятий за основу вибору розмірів індуктора. Визначено форму та обмотку сердечника.

Також було обраховано основні параметри котушки індуктивності. Саме від них залежать характеристики магнітного поля.

РОЗДІЛ 4

ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИЛЕННЯ СИГНАЛУ, ЩО НАДХОДИТЬ ДО ІНДУКТОРА

4.1 Ключовий режим роботи транзисторів кінцевого каскаду

Одним із способів вдосконалення електромагнітного стимулятора ЩЗ є збільшення ефективності підсилення сигналу що надходить до індуктора.

Для того щоб підвищити ефективність підсилювача потужності з індуктивним навантаженням доцільне використання ключового режиму роботи транзисторів кінцевого каскаду, коли досягається максимальний ККД. Для формування в індукторі струму будь-якої заданої форми може бути використаний метод кусочно-експоненційної апроксимації з кроком, який відповідає допустимому відхиленню струму від необхідних значень.

Функціональна схема ключового підсилювача з індуктивним навантаженням [11] приведена на рис. 4.1.

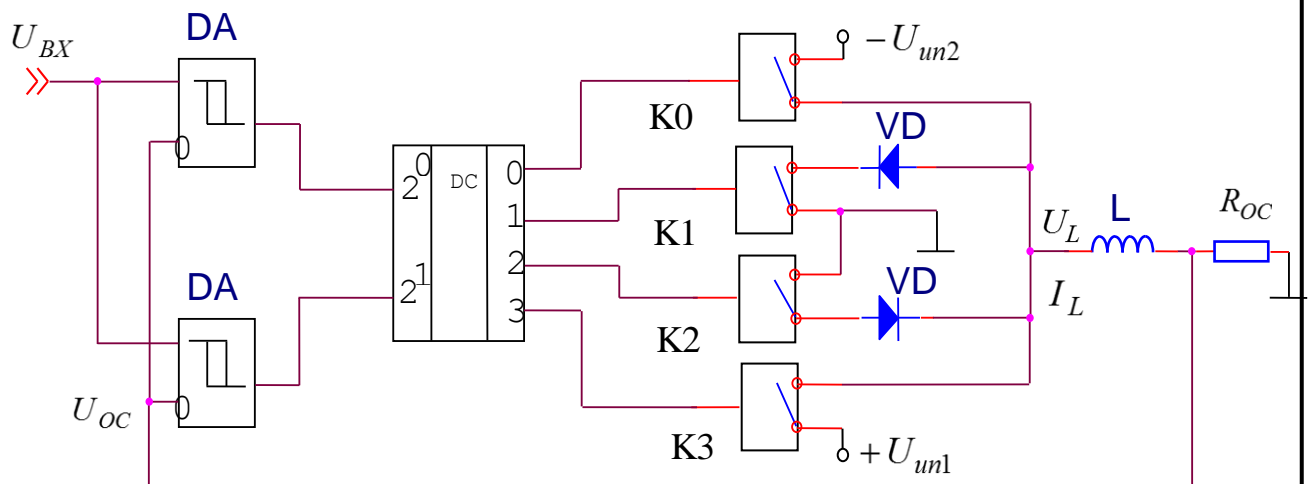


Рисунок 4.1 – Імпульсний підсилювач потужності

Силу частину підсилювача представляють ключові елементи K0, K1, K2, K3, які керовані вихідними сигналами дешифратора DD1. На входи дешифратора подаються узгоджені за рівнями вихідні сигнали аналогових

компараторів DA1, DA2, які порівнюють вхідний сигнал U_{BX} з сигналом зворотного зв'язку $U_{OC} = I_{OC} \cdot R_{OC} = I_L R_{OC}$.

Компаратори DA1, DA2 фіксують з необхідною точністю відповідність струму індуктора I_L рівню вхідного сигналу. Гранична напруга U_{n1} компаратора DA1 визначає амплітуду осциляцій напруги U_{OC} і струму індуктора I_L , що задається вхідним сигналом U_{BX} необхідного значення. Гранична напруга U_{n2} другого компаратора DA2 визначає рівні перемикавання джерел напруги, при чому $U_{n2} > U_{n1}$.

На рис.4.2 (а, б) наведені передавальні характеристики компараторів і часові діаграми роботи імпульсного підсилювача для випадку вхідного імпульсу прямокутної форми. [12]

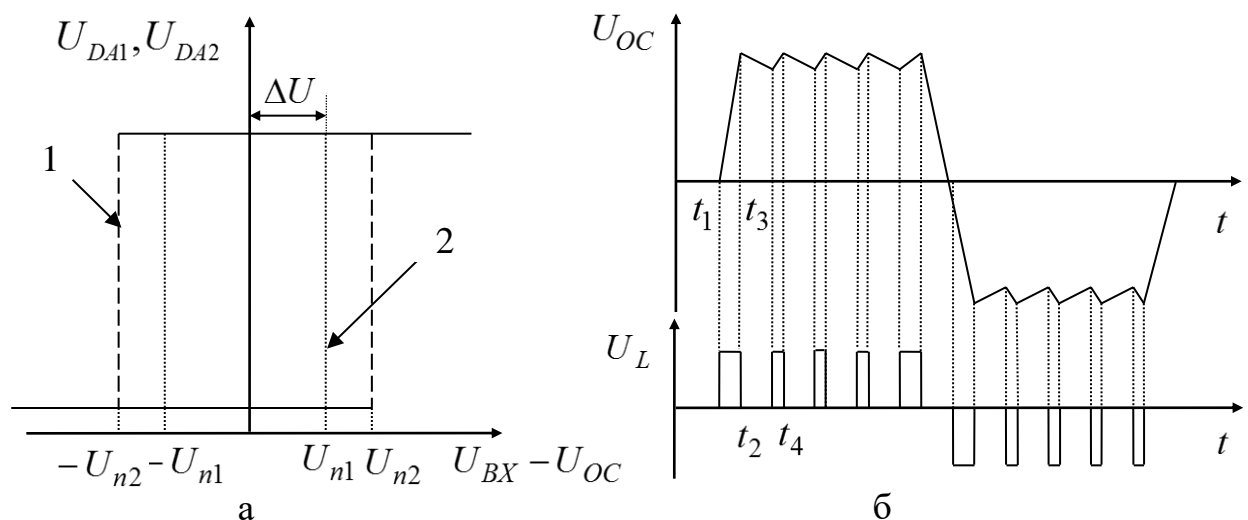


Рисунок 4.2 – а) передавальні характеристики компараторів, б)

тимчасові діаграми роботи ключового підсилювача потужності

У момент t_1 подачі на вхід позитивного імпульсу на виходах обох компараторів встановлюються рівні "1" і вихід 3 дешифратора замикає ключ КЗ. При цьому відбувається накачування енергії в котушку індуктивності L від джерела напруги $+U_{Un1}$.

Тривалість інтервалу накачування від джерела напруги:

$$t_{н1} = \tau_3 \cdot \frac{U_{ВХ} + \Delta U}{U_{Un1}} \quad (3.1)$$

де $\tau_3 = \frac{L}{R_{OC} + r_{кн3}}$, $r_{кн3}$ – опір замкнутого ключа К3.

Напруга зворотного зв'язку $U_{OC} = I_L R_{OC}$ також наростає і в момент t_2 перемикається компаратор DA1, ключ К3 закривається, а новий код на вході дешифратора відповідає рівню "1" на виході 2, який замикає ключ К2, переводячи підсилювач в режим утримання струму індуктора.

Тривалість інтервалу утримання $t_y = t_3 - t_2$, може бути отримана з виразу:

$$t_y = \tau_2 \cdot \ln \left[\frac{U_{ВХ} + \Delta U}{U_{ВХ} - \Delta U} \right] \quad (3.2)$$

де, $\tau_2 = \frac{L}{R_{OC} + r_{кн2}}$, $r_{кн2}$ - опір замкнутого ключа К2.

У момент t_{y3} компаратор DA1 знову перемикається в стан "1", ключ К2 розмикається, а К3 замикається і починається режим підкачки струму від $I_L(t_3)$ до рівню $I_L(t_4) = I_L(t_2)$. Тривалість інтервалу підкачки $t_{н2} = t_4 - t_3$ практично не залежить від $U_{ВХ}$:

$$t_y = \frac{L}{U_{Un1}} [I_L(t_4) - I_L(t_2)] = \tau_3 \cdot \frac{2\Delta U}{U_{Un1}} \quad (3.3)$$

де $|U_{n1}| \gg |U_{ВХ}|$ - умова режиму підкачки.

Режими підкачки і утримання чергуються, забезпечуючи необхідну середнє значення струму в індукторі з деякою осциляцією, що має амплітуду:

$$\Delta I_L = \frac{2\Delta U}{R_{OC} + r_{кн}}$$

У табл.4.1 наведені умови перемикання ключових елементів K0, K1, K2, K3 і режими роботи імпульсного підсилювача.

Таблиця 4.1 – Чергування режимів накачування і утримання струму в індукторі

Стан виходів компараторів		Замкнутий ключ (інші розімкнені)	Режим роботи підсилювача
DA1	DA2		
0	0	K0	Накачування $-I_L(t)$
0	1	K1	Утримання $-I_L(t)$
1	0	K2	Утримання $+I_L(t)$
1	1	K3	Накачування $+I_L(t)$

На рис. 4.3 приведена аналогова частина схеми імпульсного аналого-цифрового формувача струму індукторів. Для формування довільної залежності індукції від часу використовується метод кусочно-лінійної апроксимації.

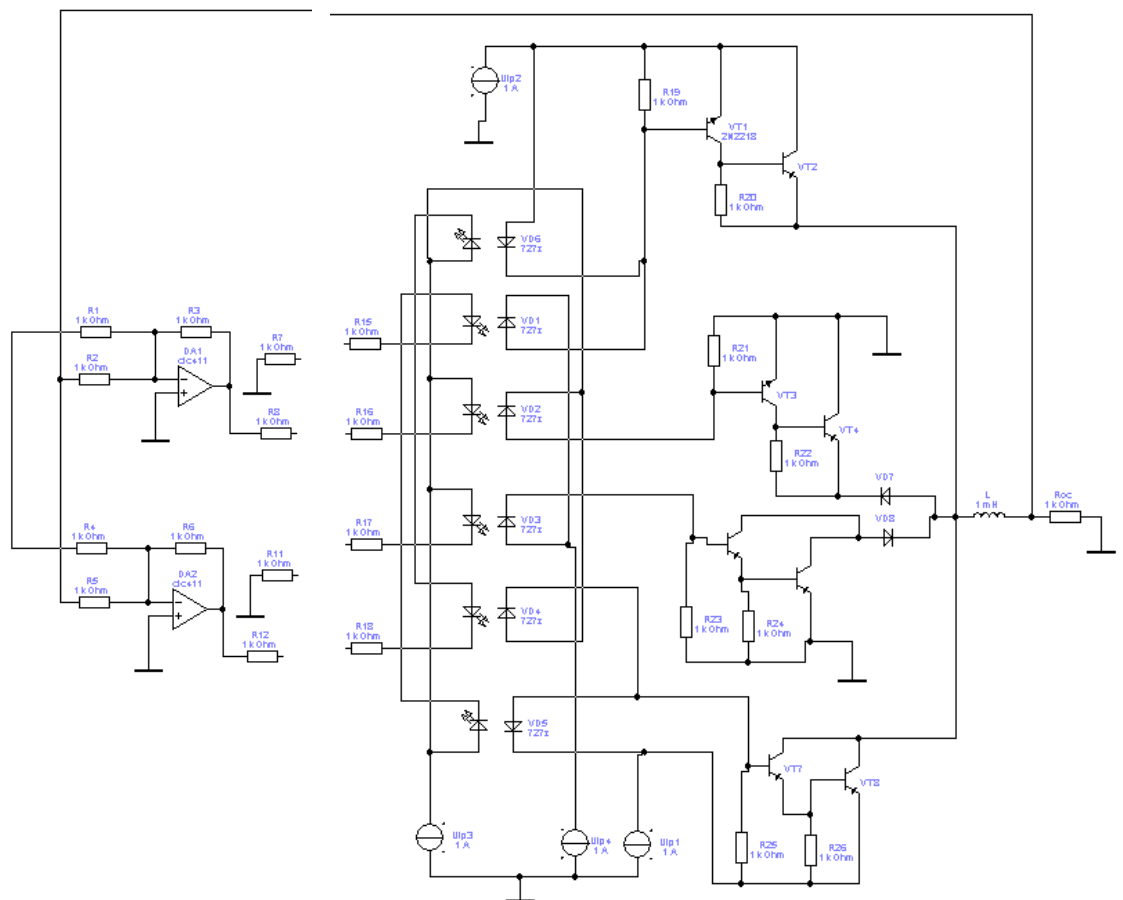


Рисунок 4.3 – Імпульсний аналого-цифровий формувач струму індуктору

Коди X_i миттєвих значень індукції надходять на цифрові входи цифроаналогового перетворювача (ЦАП) DD1. Аналоговий сигнал з виходу DD1 надходить на входи схем аналогових суматорів на основі операційних підсилювачів DA1, DA2. На другі входи суматорів надходить потенціал, що знімається з резистора R_{OC} , пропорційний струму I_L в обмотці індуктора L , а значить, і величині індукції магнітного поля $B = k \cdot I_L$ (k - коефіцієнт, що враховує магнітну проникність повітря μ_0 , геометричні розміри індуктора і наявність екрануючого магнітопроводу). Вихідний сигнал ЦАП U_A , проходячи через суматори DA1, DA2, нуль-органи DA3, DA4, дешифратор DD2 і оптрони VD2 ... VD5 так перемикає потужні ключі на транзисторах VT1...VT8, що в індукторі L встановлюється струм, що створює напругу

зворотного зв'язку U_{oc} протилежне за знаком вхідного сигналу U_A . У момент коли вихідна напруга U_1 на суматорі DA1 $U_1 = \left(\frac{U_A}{R_1} + \frac{U_{oc}}{R_2}\right) \cdot R_3 = 0 \rightarrow U_1 = k_1 U_A + k_2 U_{oc} = 0$ відбувається перемикання регенеративного нуль-органу DA3, на виході якого в стандарті ТТЛ формується сигнал, що надходить на вхід дешифратора DD2. На другий вхід дешифратора надходить сигнал від другого регенеративного нуль-органу DA4, що спрацьовує в момент, коли напруга на суматорі DA2 $U_2 = \left(\frac{U_A}{R_4} + \frac{U_{oc}}{R_5}\right) \cdot R_6 = 0 \rightarrow U_2 = k_4 U_A + k_5 U_{oc} = 0$.

Коефіцієнти k_4, k_5 визначають амплітуду осциляцій струму в індукторі ΔI_L при постійній напрузі U_A . Коефіцієнти k_1, k_2 визначають чутливість компаратора DA1-DA3 до зміни знаку похідної $\frac{dB}{dt}$ для підключення відповідного джерела живлення $+U_{ip}$ або $-U_{ip}$ до індуктора.

Стан виходів дешифратора DD2, керованого логічними рівнями нуль-органів DA3, DA4 через оптрони пари, визначають режим роботи силової частини перетворювача відповідно до таблиці.

Оптрони VD1-VD6 забезпечують гальванічну розв'язку логічної частини схеми перетворювача від силової з високовольтними джерелами живлення $+U_{ip1}, -U_{ip2}$. У таблиці 4.2 наведені стани транзисторів VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8, які забезпечують режими роботи імпульсного перетворювача.

Таблиця 4.2 – Стани транзисторів

№	$U_{Л1}$	$U_{Л2}$	Виходи				Стан транзисторів				Режим роботи перетворювача
			0	1	2	3	VT1, VT2	VT3, VT4	VT5, VT6	VT7, VT8	
1	0	0	Н	В	В	В	Насичення	Відсічка	Відсічка	Відсічка	Накачування N
2	1	0	В	Н	В	В	Відсічка	Насичення	Відсічка	Відсічка	Утримання N
3	0	1	В	В	Н	В	Відсічка	Відсічка	Насичення	Відсічка	Утримання S
4	1	1	В	В	В	Н	Відсічка	Відсічка	Відсічка	Насичення	Накачування S

У режимах №1 і №4 індуктор підключається до джерела живлення відповідно $-U_{ip2}$ через насичені транзистори VT1, VT2 або до джерела живлення $+U_{ip1}$ через насичені транзистори VT7, VT8. При цьому струм індуктора I_L відповідного знаку наростає і накопичується енергія магнітного поля. Тому вони умовно названі режимами "накачування N" і "накачування S" з урахуванням знаку вектору магнітної індукції. Накачування припиняється в момент спрацьовування компаратора DA2-DA4, який перемикає перетворювач в режим короткого замикання індуктора при відключених джерелах живлення. Замикання реалізується через насичені транзистори VT3, VT4 або VT5, VT6. При цьому збережена енергія магнітного поля експоненціально падає, зменшується за абсолютною величиною U_{OC} .

Відповідно режими 2 і 3 названі режимами "утримання N" і "утримання S". Закінчується режим утримання спрацьовуванням компаратора DA2-DA4 і переходом перетворювача в режим накачування. Перехідні процеси в навантаженні U_L та I_L і в разі $U_A = const > 0$ показані на рис. 4.16, де I_{Lcp} – задається вхідним кодом значення струму індуктора, I_{K8} – колекторний струм транзистора накачування S VT8, I_{K6} – колекторний струм транзистора утримання S VT6.

Для значення $U_A < 0$ напруга U_L і струм I_L змінюють знак, накачування N відбувається через VT1, VT2, а утримання N – через VT3, VT4. Для розглянутого випадку $U_A > 0$ струм індуктора $I_L = I_{K6} + I_{K8}$. Відповідно до

прийнятої термінологією часовий інтервал утримання $t_3 - t_2 = t_y$ відповідає режиму "Утримання S", інтервал $t_5 - t_4 = t_n$ – режиму "накачування S", а інтервали $t_2 - t_4 = t_{\phi}^{10}$ і $t_4 - t_3 = t_{\phi}^{01}$ – відповідно перехідному процесу з режиму "Накачування S" в режим "Утримання S" і назад. На інтервалах t_{ϕ}^{10} і t_{ϕ}^{01} транзистори VT5, VT6 и VT7, VT8 знаходяться в активному режимі і для зменшення розсіювання на них потужності перехідні процеси зводяться до мінімуму шляхом вибору відповідних по швидкодії транзисторів і керуючих ними сигналів.

Амплітуда осциляцій струму індуктора ΔI_L визначається величиною зони нечутливості компаратора DA2-DA4, тобто його граничною напругою:

$$U_{П1} = \Delta I_L R_{OC} = \frac{U_{Л2}}{k_5 k_6} = \frac{U_{Л2} R_5 R_{11}}{R_6 R_{13}} \quad (4.1)$$

$$\text{де } k_6 = \frac{R_{13}}{R_{11}} = \frac{R_{14}}{R_{12}}$$

Звідси маємо

$$\Delta I_L = \frac{U_{Л2} R_5 R_{11}}{R_{OC} R_6 R_{13}} = \frac{U_{Л2}}{R_{OC} k_5 k_6} \quad (4.2)$$

Тривалість інтервалів $t_n, t_y, t_{\phi}^{01}, t_{\phi}^{10}$ в залежності від параметрів компонентів схеми імпульсного перетворювача визначається з умови, що $+U_{ip1} = |-U_{ip2}| = U_{ip}$.

На інтервалі t_n практично всю напругу U_{ip} докладено до індуктивності L, якщо опір насиченого транзистора $r_{кн}$ і R_{OC} малі в порівнянні з індуктивним опором котушки L. Тоді струм індуктора наростає за час накачування t_n від значення $I_L - \Delta I_L$ до $I_L + \Delta I_L$ згідно із законом: $I_L(t) = +\frac{1}{L} \int_0^{t_n} U_L dt$

Так як максимальне значення $U_L \cong U_{ip} = const$, то

$$I_L(t_H) = I_{Lcp} - \Delta I_L + \frac{U_{ip}}{L} t \Big|_0^{t_H} \quad (4.3)$$

де $I_{Lcp} = \frac{U_A}{R_{oc}}$ – середнє значення струму індуктора, задане вхідним кодом.

Так як струм $I_L(t_H) = I_{Lcp} + \Delta I_L$, то з (4.3) і (4.1) слідує:

$$t_H = \frac{2L\Delta I_L}{U_{ip}} = \frac{2U_{П1}}{U_{ip}} \cdot \frac{L}{R_{oc}} \quad (4.4)$$

Для оцінки інтервалу t_ϕ^{10} , на якому транзистор переходить з насичення в режим відсічення, використовуємо функцію зміни заряду бази транзистора, який рекомбінує за експоненціальним законом завдяки фотоструму I_ϕ оптрона VD5 (для VD6 $U_A < 0$). Тоді для інтервалу t_ϕ^{10} експоненти можна записати:

$$t_\phi^{10} = \tau_\beta \ln \frac{-I_\phi \tau_\beta - \frac{I_{Lcp} \tau_\beta}{\beta_1 \beta_2}}{-I_\phi \tau_\beta} = \tau_\beta \ln \frac{I_\phi \beta_1 \beta_2 + I_{Lcp}}{I_\phi \beta_1 \beta_2}$$

або з урахуванням $I_{Lcp} = \frac{U_A}{R_{oc}}$

$$t_\phi^{10} = \tau_\beta \ln \frac{I_\phi \beta_1 \beta_2 R_{oc} + U_A}{I_\phi \beta_1 \beta_2 R_{oc}} \quad (4.5)$$

де β – коефіцієнт підсилення по струму складових транзисторів VT1, VT2 (або VT7, VT8); τ_β – середній час життя неосновних носіїв транзистора VT8 (і транзистора VT2).

На інтервалі утримання $t_3 - t_2 = t_y$ енергія магнітного поля зменшується, і струм індуктора експоненціально зменшується від максимального значення $I_L + \Delta I_L$ до мінімального значення $I_L - \Delta I_L$ з постійною часу, яка визначається:

$$\delta_y = \frac{L}{(R_L + R_{OC} + r_{KH} + r_{пр})} \quad (4.6)$$

де R_L – активний опір обмотки індуктора L , r_{KH} – опір колектора-емітер насиченого транзистора VT6 (VT4), $r_{пр}$ – опір діода VD8 (VD7).

Тоді з урахуванням (4.2) та (4.6) інтервал t_y визначається виразом

$$\begin{aligned} t_y &= \delta_y \ln \frac{I_L(\infty) - I_L(t_2)}{I_L(\infty) - I_L(t_3)} = \tau_y \ln \frac{I_{Lcp} + \Delta I_L}{I_{Lcp} - \Delta I_L} \\ &= \frac{L}{(R_L + R_{OC} + r_{KH} + r_{пр})} \ln \frac{U_A + U_{П1}}{U_A - U_{П1}} \end{aligned} \quad (4.7)$$

де $I_L(\infty) = 0$, $I_{Lcp} = \frac{U_A}{R_{OC}}$, $I_L(t_2) = I_{Lcp} + \Delta I_L$, $I_L(t_3) = I_{Lcp} - \Delta I_L$, $\Delta I_L = \frac{U_{П1}}{R_{OC}}$.

На часовому інтервалі $t_4 - t_3 = t_{\phi}^{01}$ відбувається перемикання транзистора утримання VT6 (VT4) із насичення в режим відсічення, а транзистор накачування VT8 (VT2) – із відсічення в режим насичення фотоструму оптрона VD4 (VD1). При цьому струм індуктора перемикається з колекторного ланцюга транзистора VT6 (VT4) в колектор транзистора VT8 (VT2). За короткий час перемикання струм індуктора змінюється незначно. Тривалість інтервалу t_{ϕ}^{01} включення транзистора VT8 (VT6) визначається процесом накопичення заряду неосновних носіїв в його базі від практично нульового значення до граничного заряду $Q_{гр} = \frac{I_{cp}}{\beta_1 \beta_2}$, відповідно моменту переходу транзистора накачування з активного режиму в режим насичення:

$$t_{\phi}^{01} = \tau_{\beta} \ln \frac{Q_{\infty}}{Q_{\infty}} = \tau_{\beta} \ln \frac{I_{\phi} \beta_1 \beta_2}{I_{\phi} \beta_1 \beta_2} = \tau_{\beta} \ln \frac{I_{\phi} \beta_1 \beta_2 R_{OC}}{I_{\phi} \beta_1 \beta_2 R_{OC} - U_A} \quad (4.8)$$

$$\text{де } Q_{\infty} = \tau_{\beta} I_{\phi}, Q_{\text{гр}} = \frac{\tau_{\beta} I_{Lcp}}{\beta_1 \beta_2}.$$

При визначенні інтервалу t_{ϕ}^{01} не врахований процес розсмоктування надлишкового заряду неосновних носіїв в транзисторі VT6 (VT4), так як VD7 (VD6) відключається від ланцюга індуктора раніше, ніж транзистор виходить з насичення.

Співвідношення (4.4), (4.5), (4.7) і (4.8) дозволяють визначити період T_{Π} і частоту f_n осциляцій струму індуктора

$$T_{\Pi} = t_n + t_{\phi}^{10} + t_y + t_{\phi}^{01} = \frac{1}{f_n} \quad (4.9)$$

як функцію напруг живлення $U_{ip1} U_{ip2}$, вхідного напруги U_A , порога спрацьовування компаратора $U_{\Pi 1}$, допустимої амплітуди осциляцій струму $\Delta I_L = \frac{U_{\Pi 1}}{R_{OC}}$, параметрів транзисторів. Причому для швидкодіючих транзисторів $(t_{\phi}^{10}, t_{\phi}^{01}) \ll (t_n, t_y)$, тому з похибкою, що становить одиниці відсотків, можна вважати $T_{\Pi} \approx t_n + t_y$. Аналіз (4.9) показує, що чим менше T_{Π} , тим більше U_A , і тим менше ΔI_L і індуктивність L . Співвідношення періоду осциляцій і інтервалу накачування t_n визначає скважність імпульсного струму, що споживається від джерел живлення $U_{ip1} U_{ip2}$ яка визначається за формулою:

$$\theta = \frac{2T_{\Pi}}{2t_n + t_{\phi}^{10} + t_{\phi}^{01}} \quad (4.10)$$

та середню вживану потужність силовою частиною перетворювача:

$$P_{\text{ПОТ}} = \frac{I_{Lcp} U_{ip}}{\theta} \approx \frac{t_n I_L U_{ip}}{T_{\Pi}} = \frac{t_n U_{ip} U_A}{T_{\Pi} R_{OC}} \quad (4.11)$$

Для підсилювачів потужності найважливішими показниками є коефіцієнт корисної дії:

$$\mu(U_A) = \frac{P_{\text{ПОТ}} - P_{PAC}}{P_{\text{ПОТ}}} \quad (4.12)$$

де P_{PAC} – потужність, що розсіюється на компонентах схеми, і потужність, що виділяється на колекторах кінцевих транзисторів. У розглянутій схемі ця потужність розподіляється між транзисторами накачування (P_H), транзисторами утримання (P_Y), активними опорами зворотного зв'язку R_{OC} і котушки R_L .

Активна потужність P_H , що виділяється на працюючому в ключовому режимі транзисторі накачування VT8 (при $U_A > 0$ або VT2 при $U_A < 0$) визначається для кожного з часових інтервалів періоду T_{Π} :

$$t_n \rightarrow P_H(t_n) = \frac{I_{Lcp}^2 r_{KH} t_n}{T_{\Pi}} \quad (4.13)$$

$$t_{\Phi}^{10} \rightarrow P_H(t_{\Phi}^{10}) = \frac{0,5 I_{Lcp} r_{KH} t_{\Phi}^{10}}{T_{\Pi}} \quad (4.14)$$

$$t_y \rightarrow P_H(t_y) = \frac{I_{K0} U_{ip} t_y}{T_{\Pi}} \quad (4.15)$$

$$t_{\Phi}^{01} \rightarrow P_H(t_{\Phi}^{01}) = \frac{0,5 I_{Lcp} U_{ip} t_{\Phi}^{01}}{T_{\Pi}} \quad (4.16)$$

де I_{K0} – зворотній струм колектора транзистора в режимі відсічки, r_{KH} – опір.

Для співвідношень (4.14), (4.16) прийнято допущення, що на інтервалах t_{Φ}^{10} t_{Φ}^{01} , напруга U_L на колекторі транзистора накачування і його колекторний

струм змінюється за законом, близькому до лінійного. Таким чином, загальна середня потужність, що розсіюється на транзисторі накачування, з урахуванням виразів (4.13), (4.14), (4.15), (4.16) дорівнює:

$$P_H = \frac{I_{Lcp}^2 r_{KH} t_H + 0,5 I_{Lcp} r_{KH} t_{\Phi}^{10} + I_{K_0} U_{ip} t_y + 0,5 I_{Lcp} U_{ip} t_{\Phi}^{01}}{T_{\Pi}} \quad (4.17)$$

Аналогічно, для тих же часових інтервалів, визначається активна потужність P_y , що виділяється на колекторі транзисторів утримання:

$$t_H \rightarrow P_y(t_H) = \frac{I_{K_0} U_{ip} t_H}{T_{\Pi}} \quad (4.18)$$

$$t_{\Phi}^{10} \rightarrow P_y(t_{\Phi}^{10}) = \frac{0,5 I_{Lcp} U_{ip} t_{\Phi}^{10}}{T_{\Pi}} \quad (4.19)$$

$$t_y \rightarrow P_y(t_y) = \frac{I_{Lcp}^2 r_{KH} t_y}{T_{\Pi}} \quad (4.20)$$

$$t_{\Phi}^{01} \rightarrow P_y(t_{\Phi}^{01}) = \frac{0,5 I_{Lcp} U_{ip} t_{\Phi}^{01}}{T_{\Pi}} \quad (4.21)$$

Тоді середня потужність, що розсіюється на колекторі транзистора утримання потужності дорівнює:

$$P_y = \frac{I_{K_0} U_{ip} t_H + 0,5 I_{Lcp} U_{ip} t_{\Phi}^{10} + I_{Lcp}^2 r_{KH} t_y + 0,5 I_{Lcp} U_{ip} t_{\Phi}^{01}}{T_{\Pi}} \quad (4.22)$$

На активних опорах R_{OC} і R_L розсіюється потужність:

$$P_R = I_{Lcp}^2 (R_{OC} + R_L) \quad (4.23)$$

Для ілюстрації ефективності імпульсного формувача магнітного поля в порівнянні з класичною схемою підсилювача потужності розглянемо практичний приклад для наступних вихідних даних, що використовують: $I_{L\max} = 1\text{А}, B_{\max} = 30\text{мТл}, R_L = 0,230\text{Ом}, \Delta L = 0,01, I_{\max} = 10\text{мА}, U_{ip1} = 40\text{В}, U_{ip2} = -40\text{В}, R_{OC} = 0,10\text{Ом}.$

Якщо в якості зіставної пари транзисторів обрати транзистори типу КТ653 в комбінації з КТ315 або КТ361, то можна прийняти для них:

$$\beta_1 = 100, \beta_2 = 50, r_{KH} = 0,10\text{Ом}, I_{K_0} = 10^{-5}\text{А}, t_{\text{вкл}} \leq 0,1\text{мкс}, t_{\text{викл}} \leq 1\text{мкс}.$$

Типове значення вихідного струму фотодіодного оптрона становить: $I_\phi = 0,1\text{мА}.$

З допомогою відношень (4.4), (4.5), (4.7), (4.8) отримаємо тривалість перехідних процесів: $t_n = 10\text{мкс}, t_y = 67\text{мкс}, t_\phi^{10} = 1\text{мкс}, t_\phi^{01} = 0,1\text{мкс}.$

Тоді період осциляції з амплітудою 10мА складає $T_\Pi = 78,1\text{мкс}.$

Для визначення потужності, що розсіюється на транзисторі накачування використаємо отримані інтервали у виразах (4.13)-(4.16): $P_n(t_n) = 12,8\text{мВт}, P_n(t_\phi^{10}) = 256,4\text{мВт}, P_n(t_y) = 0,34\text{мВт}, P_n(t_\phi^{01}) = 0,03\text{мВт}.$

Таким чином, середнє значення потужності, що розсіюється на колекторі транзистора накачування за період дорівнює $P_n = 269,6\text{мВт}.$ За технічними умовами транзистор КТ653 може використовуватися без радіатора.

Для транзистора, що працює на утримання струму індуктора, потужність, що перетворюється в тепло, визначимо за допомогою співвідношень (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), відповідно:

$$P_y(t_n) = 1,28 \cdot 10^{-7}\text{Вт}, P_y(t_\phi^{10}) = 0,32\text{мВт}, P_y(t_y) = 58,9\text{мВт}, \\ P_y(t_\phi^{01}) = 0,032\text{мВт}.$$

Середня за період осциляцій потужність дорівнює $P_y = 86,2\text{мВт},$ тому такий транзистор також можна використовувати без додаткового відводу тепла.

З урахуванням потужності, що розсіюється на опорі R_{OC} і R_L $P_R = 2,1\text{Вт}$ загальна потужність теплових втрат становить $P_T = 2,456\text{Вт}$, а потужність споживана від джерел живлення, згідно (4.11) дорівнює $P_{\text{пот}} = 5,128\text{Вт}$. Таким чином, коефіцієнт корисної дії формувача, який визначається виразом (4.12) для зазначеного режиму роботи становить $\eta = 0,5152$ або 51.52%. ККД формувача з аналогічними амплітудно-часовими параметрами становить $\eta_B = 0,0668$ або 6.68%.

Відзначимо, що при подачі на вхід формувача знакозмінного сигналу розсіювана на колекторах потужність перерозподіляється між двома плечима, підключеними до джерел живлення U_{ip1} і U_{ip2} , тому при тому ж значенні ККД розсіювана потужність на колекторах зменшується відповідно скважності вхідного сигналу.

Таким чином, застосування імпульсного формувача струму індукторів забезпечує використання властивостей індуктивного навантаження накопичувати енергію МП в режимі імпульсного накачування і утримання, що дозволяє зменшити потужність теплових втрат на індукторі в залежності від величини пульсацій струму.

Висновок до розділу 4

В ході даного розділу було розглянуто імпульсний аналого-цифровий формувач струму індукторів. Було описано його роботу та численно доведено його перевагу. Було визначено що коефіцієнт корисної дії формувача становить $\eta=0,5152$ або 51.52% в той час ККД формувача з аналогічними амплітудно-часовими параметрами становить $\eta=0,0668$ або 6.68%.

РОЗДІЛ 5

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОПРОМІНЮВАЧА В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

5.1 Формування генератору лінійно-змінюючої напруги

Генератор лінійного-змінюючої напруги – імпульсний пристрій, в вихідній напрузі якого є ділянка, що лінійно змінюється в часі.

Напруга може змінюватися періодично. В цьому випадку генератор називається генератором пилоподібного напруги або генератором напруги трикутної форми .

Даний генератор побудований на операційному підсилювачі DA1. Резисторами R2 регулюється рівень зміщення пилоподібної напруги відносного нульового потенціалу, а зміним резистором R7 – період слідування.

На рисунку 5.1 представлено принципову схему генератора лінійно-змінюючої напруги в середовищі Electronics Workbench.

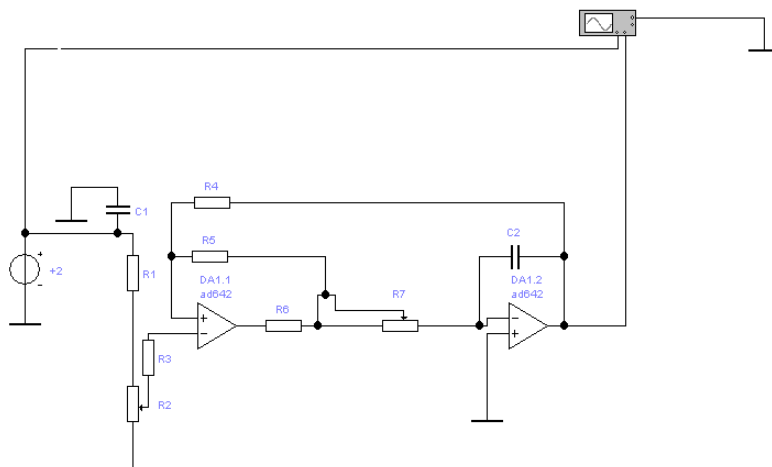


Рисунок 5.1 – Принципова схема генератора лінійно-змінюючої
напруги

В ході моделювання були підібрані номінальні значення для кожної компоненти. В таблиці 5.1 приведені параметри:

Таблиця 5.1 Номінальні значення компонент генератора лінійно-змінюючої напруги

Компонента	Значення	Одиниця виміру
R1	120	кОм
R2	230	кОм
R3	12	кОм
R4	12	кОм
R5	33	кОм
R6	1	кОм
R7	330	кОм
C1	1	мкФ
C2	47	пФ
Живлення	2	В

В даній схемі в якості ОП використовувалась модель AD642. Це двоканальний JFET операційний підсилювач, характеризується досить низьким рівнем шумів, з малими вхідними струмами, з низьким температурним дрейфом для роботи в побутовому діапазоні температур від 0 до +70 ° С. Вхідні каскади мікросхеми AD642 побудовані на польових транзисторах, що забезпечує високий вхідний опір. Конструктивно оформлений в корпусах типу DIP-8,.

Основні параметри і характеристики операційного підсилювача AD642 представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Параметри AD642

Параметр, од.вим.	Номінал
Каналів	2 шт
TA, ° С	від -40 до 105
VOS (тип.), мВ	10
ICC на канал (макс.), мА	1.4
IBIAS (тип.), нА	0.2
Смуга пропускання (тип.), МГц	4
VCC, В	від 6 до 36
Slew Rate (тип.), В / мкс	16
Shutdown	Немає
CMRR (тип.), дБ	86
Gain (тип.), дБ	86

Ці параметри підходять для використання даної моделі в апаратах медичного призначення.

Аналогами є такі зарубіжні варіанти: TL072, AD712, TA75072P, ECG858M, NJM072D.

Змодельований генератор лінійно-змінюючої напруги генерує сигнал трикутноподібної (пилкоподібної) форми. На рисунку 5.2 представлений отриманий сигнал.

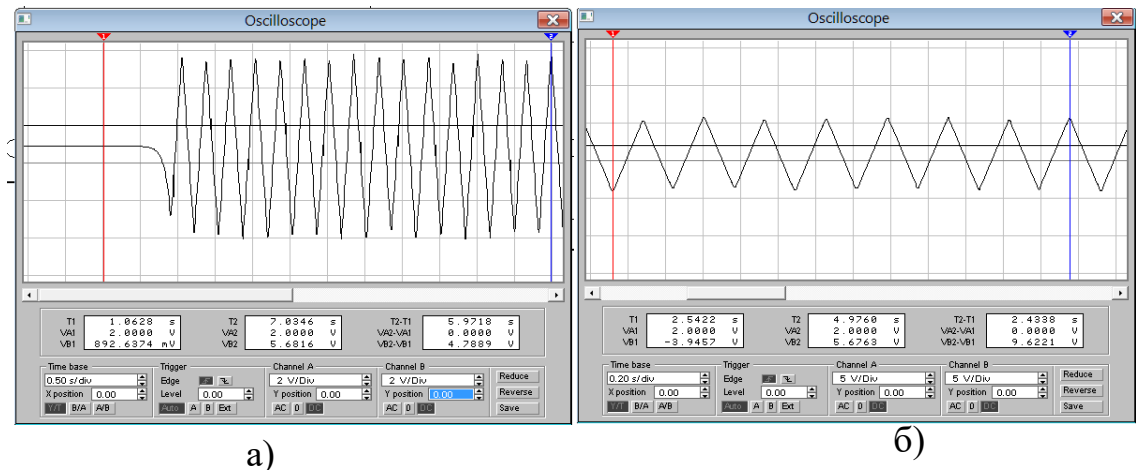


Рисунок 5.2 – Сигнал від генератора лінійно-змінюючої напруги: а) масштаб 2V/Div; б) масштаб 5V/Div;

Осцилограф зображає на каналі А: вхідне живлення до генератора. З рис.4.2 видно, що значення дорівнює 2В. На канал В поступає вихідний сигнал від даного генератора.

Отриманий сигнал від генератора лінійно-змінюючої напруги надходить до блоку перемикачів режиму.

5.2 Блок перемикачів режиму

Блок переключення режимів представляє собою набір дільників напруги.

Дільник напруги — лінійна електронна схема, напруга на виході якої (V_{out}) складає частину напруги на вході (V_{in}). Найпростіший дільник напруги складається з двох послідовно увімкнених резисторів.

В даному блоці дільники напруги вмикаються з допомогою перемикачів: F (режим фіксованої частоти), 1-F (режим плаваючої регулюючої частоти) та 90-100 (режим плаваючої нерегулюючої частоти).

На рисунку 5.3 представлено змодельований блок у програмному середовищі Electronics Workbench.

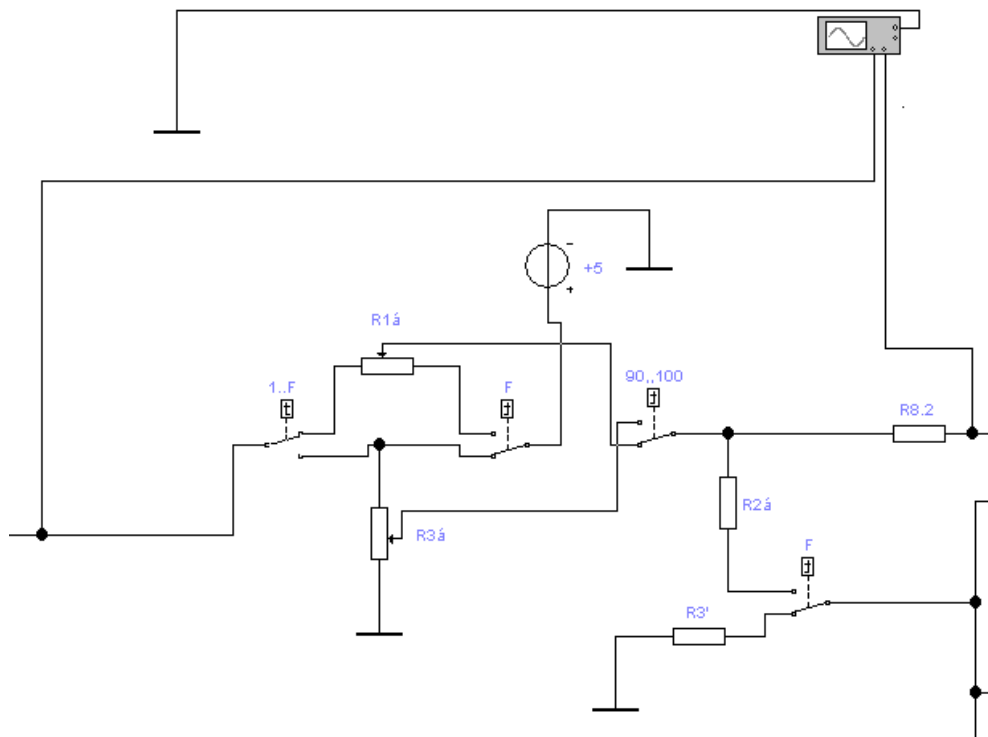


Рисунок 5.3 – Принципова схема блоку перемикання режимів

Схема демонструє принципову схему даного блоку. Блок підключається до блоку лінійно-змінюючої напруги, до блоку контролю на його перемикач «Канал» та до блоку задаючого генератора.

Сигнал, що надходить до блоку моніторингу отримується за для того щоб сповістити про той чи інший режим роботи, що виконується, за для ввімкнення звукового сигналу, що свідчить про роботу опромінювача та запуску таймеру процедури.

В ході моделювання були підібрані номінальні значення для кожної компоненти. В таблиці 5.3 приведені параметри:

Таблиця 5.3 Номінальні значення компонент перемикача режиму

Компонента	Значення	Одиниця виміру
R1a	15	кОм
R2a	47	кОм
R3a	15	кОм
R3б	12	кОм
R8	47	кОм
Живлення	5	В

В залежності від положення ключі генерується сигнал різних частот.

На рисунку 5.4 приведені отримані сигнали від блоку перемикача режимі, в залежності від положення ключів.

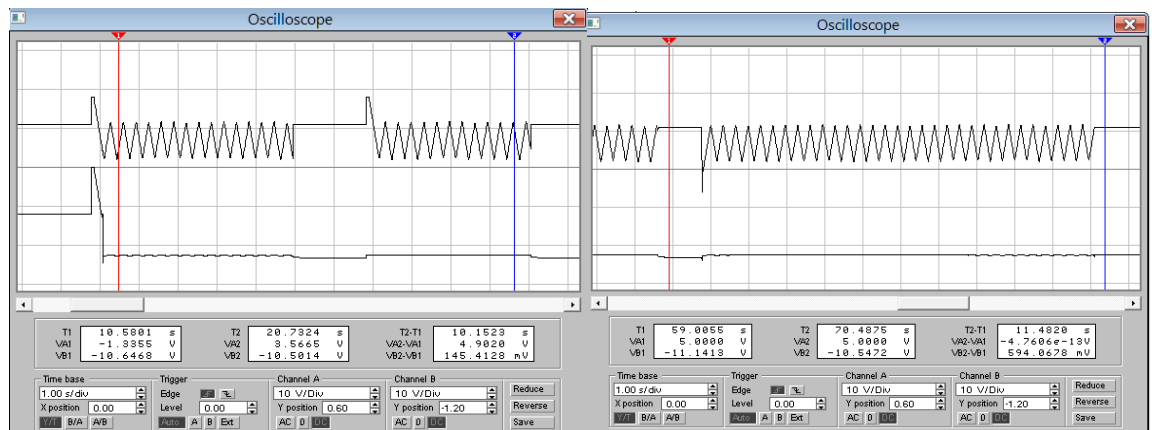


Рисунок 5.4 – Згенеровані сигнали блоку перемикача режиму

У вікні інтерфейсу осцилографа можна виділити області де включені по чергово кожен з ключів та коли всі ключі є вимкненими.

5.3 Задаючий генератор

Задаючий генератор - це генератор будь-якої потужності з самозбудженням. У заданому генераторі збуджуються електричні коливання високої стабільності.

В залежності від положення перемикачів режимів роботи задаючий генератор видає фіксовану частоту F , змінні частоти $1-F$ або 90-100 Гц.

Для реалізації було обрано побудову генератору на операційному підсилювачі (DA2, рис 5.5). Змінний резистор R10 слугує для підналаштування потрібної частоти.

На рисунку 5.5 представлено принципову схему задаючого генератора в середовищі Electronics Workbench.

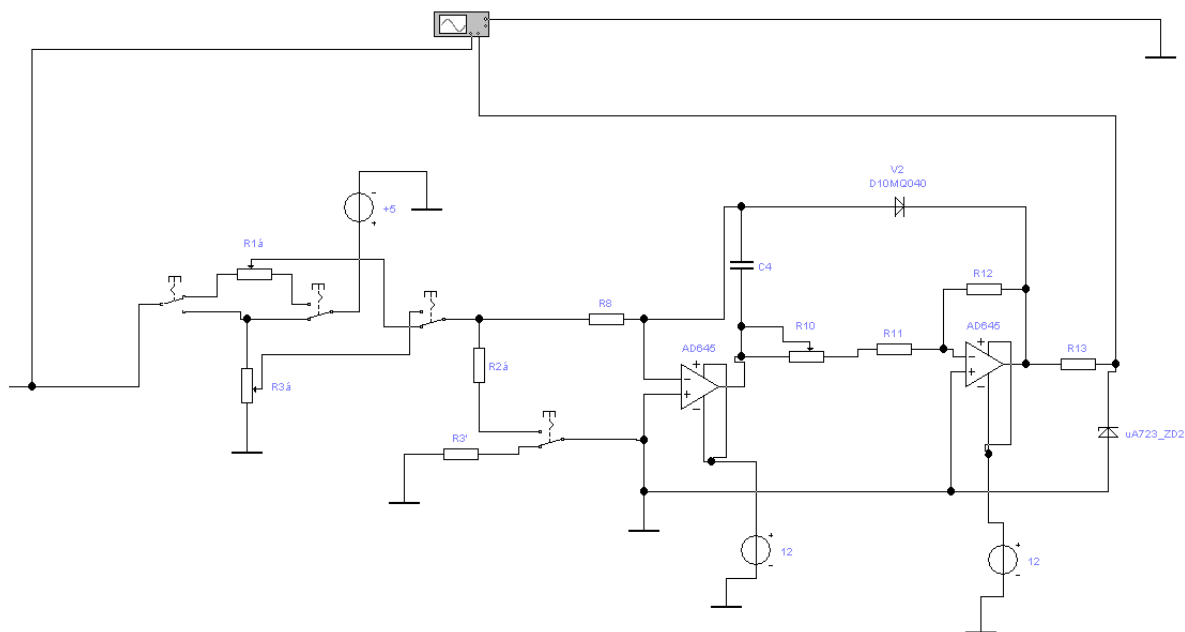


Рисунок 5.5 – Задаючий генератор

В ході моделювання були підібрані номінальні значення для кожної компоненти. В таблиці 5.4 приведені параметри:

Таблиця 5.4 Номінальні значення компонент задаючого генератора

Компонента	Значення	Одиниця виміру
R8	100	кОм
R9	2,2	кОм
R10	6,8	кОм
R11	1	кОм
R12	27	кОм

В даній схемі в якості ОП використовувалась модель AD645. Це малоспоживчий Rail-to-Rail ОП з вхідним каскадом на польових транзисторах і однополярним живленням. Характеризується досить низьким рівнем шумів, з малими вхідними струмами, з низьким температурним дрейфом для роботи в побутовому діапазоні температур від 0 до +70 ° С. Ці параметри підходять для використання даної моделі в апаратах медичного призначення. Вхідні

каскади мікросхеми AD645 побудовані на польових транзисторах, що забезпечує високий вхідний опір. Конструктивно оформлений в корпусах типу DIP-8,.

Основні параметри і характеристики операційного підсилювача AD642 представлені у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 Параметри AD645

Параметр, од.вим.	Номінал
Каналів	2 шт
TA, °C	від -40 до 100
VOS (тип.), мВ	10
ICC на канал (макс.), мА	1.5
IBIAS (тип.), нА	0.2
Смуга пропускання (тип.), МГц	4
VCC, В	від 5 до 35
Slew Rate (тип.), В / мкс	16
CMRR (тип.), дБ	86
Gain (тип.), дБ	86

Також в даному блоці використовуються діод Д104А та стабілітрон КС147А.

Діод Д104А відносять до групи кремнієвий, мікросплавних, універсальних. Призначений даний діод для застосування в системах АРУ, дискримінатор та підсилювачах. Маса діода не більше 0,53 м.

Основні технічні характеристики діода Д104А наведені у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 Характеристики Д104А

Характеристика	Значення
Uобр max - Максимальна постійна зворотна напруга	100 В
Inp max - Максимальний прямий струм	30 мА
fд - Робоча частота діода	150 кГц
Uпр - Постійне пряме напруга	не більше 2 В при Inp 2 мА
Іобр - Постійний зворотний струм	не більше 5 мкА при Uобр 100 В
tвос обр - Час зворотного відновлення	0,5 мкс
Сд - Загальна ємність	0,7 пФ при Uобр 1 В

Стабілітрони типу КС147А кремнієві, сплавні, малої потужності. Призначений даний стабілітрон для стабілізації номінального напруги в діапазоні струмів стабілізації 3...58 мА. Випускаються в скляному корпусі з гнучкими висновками. Для позначення типу і полярності стабілітрона

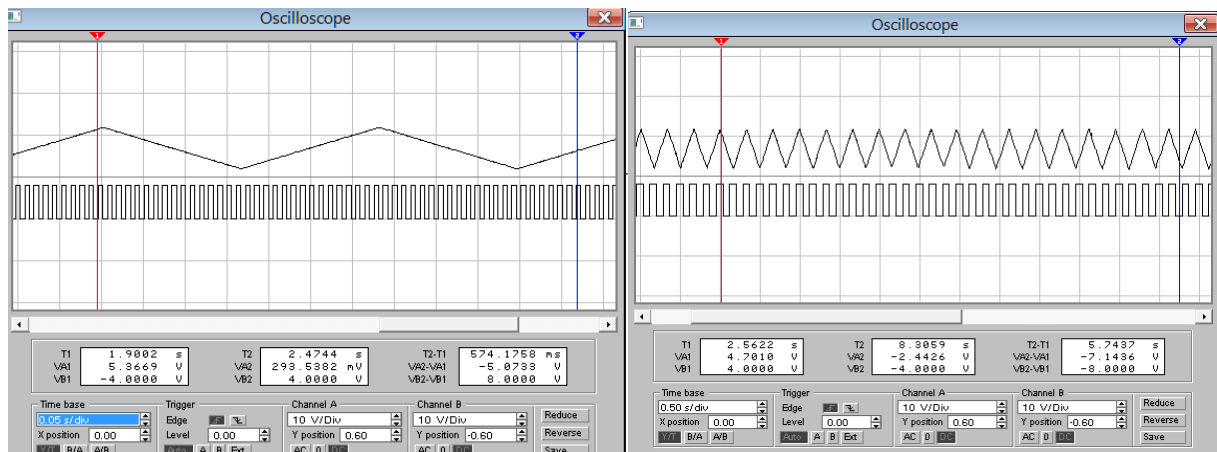
використовується умовна маркування - блакитна кільцева смуга з боку катодного виводу і різнокольорові кільцеві смуги по боках анодного виводу: у КС147А – сіра. У режимі стабілізації напруги полярність включення стабілітрона зворотна. Маса стабілітрону не більше 0,3 м Тип корпусу: КД-4-1.

Основні технічні параметри стабілітрона КС147А наведені у таблиці 5.7

Таблиця 5.7 Характеристики КС147А.

Характеристика	Значення
Номінальна напруга стабілізації	4,7В при Іст 10мА
Розкид напруги стабілізації	4,23 ... 5,17В
Температурний коефіцієнт напруги стабілізації	-0,09%/°С
Постійне пряме напруга	1В при Іпр 50мА
Диференціальний опір стабілітрона	56 Ом при Іст 10 мА
Мінімально допустимий струм стабілізації	3мА
Максимально допустимий струм стабілізації	58 мА
Максимально допустима розсіює потужність на стабілітроні	0,3 Вт
Робочий інтервал температури навколишнього середовища	-60 ... +125°С

В залежності від положення ключів формуються імпульси різної частоти. На рисунку 5.6 представлений вигляд отриманого сигналу від даного генератору.



а)

б)

Рисунок 5.6 – Сигнал від задаючого генератора: а) з частотою ≈ 91 Гц; б) з частотою ≈ 6 Гц

Дані вихідні імпульси з цього генератора поступають до блоку вибору сигналу. В даному блоці міститься ПЗП, цифрові коди з якого переходять на цифроаналоговий перетворювач. Так отримується аналоговий сигнал одного періоду. Цей сигнал в свою чергу переходить до блоку підсилення і в подальшому на індуктор.

На рисунку 5.7 представлено зібрану схему блоку генерації в програмному середовищі Electronics Workbench.

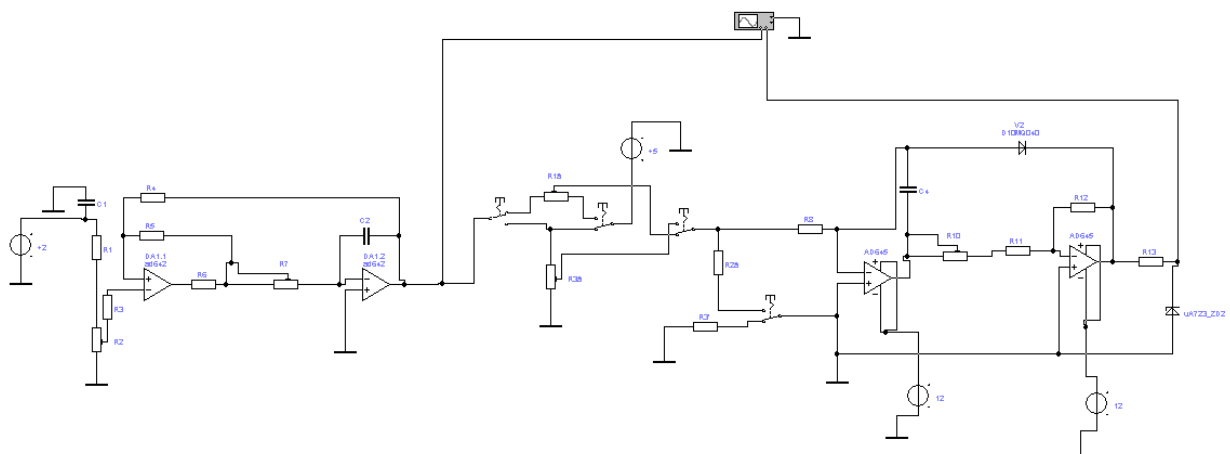


Рисунок 5.7 – Блок генерації

Даний блок включає генератор лінійно-змінюючої напруги, перемикача режиму та задаючий генератор.

Висновок до розділу 5

В даному розділі представлена змодельована аналогова частина опромінювача в програмному середовищі Electronics Workbench. Приведені значення компонент кожної складової блоку генерації та характеристики окремих частин. З допомогою осцилографа в середовищі показані сформовані сигнали на різних етапах генерації.

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						51
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Характеристики приладу, що проектується

Прилад використовується для стимулювання роботи Щитоподібної залози за допомогою магнітного поля від індуктора. Основні технічні характеристики приладу та його функціональних блоків наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристики об'єкта

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1.	Прилад	матеріал корпусу полікарбонат 1,5 мм, клас виробу за способом захисту – I, клас виробу за ступенем захисту B, IP43, вид виконання пристрою, в залежності від умов експлуатації та довкілля – захищене Потужність: 320 ... 1000 Вт Напруга живлення: $3,65\text{В} \pm 0,05\text{В}$, 100-240В~ 50/60Гц Діапазон робочих температур: -10 ... 70°C		
2.	Корпус приладу	Водонепроникний, пластиковий полікарбонатний 1,5 мм Температурний режим -60 ... +120 °C	1	
3	Блок живлення	Напруга живлення: 100-240В~ 50/60Гц Струм живлення: 0.35А Вихідна напруга: 5В Вихідний струм: 2А	1	6
4	Блок генерації (включає: блок вибору сигналу)	Частотний діапазон: 5кГц, 10Гц ... 100Гц Напруга живлення: +3.3В Витрати живлення: 2мА ... 7мА Робоча температура: -10°C ... 70°C Температура зберігання: -55°C ... 125°C	1	1,2
5	Підсилювач	Напруга живлення: 3.3В Максимальний струм живлення 1.3мА Діапазон робочих температур: -65°C ... 125°C Діапазон зберігання: -40°C ... 85°C	1	3

Продовження таблиці 6.1

6	Індуктор	Індуктивність: 30мГн Номинальний діапазон струму: 0.2А ... 1А Діапазон робочих температур: -40 ⁰ С ... 125 ⁰ С Ефективна довжина магнітної лінії: 86.9мм Ефективна площа поперечного перерізу: 57мм ² Ефективний об'єм осердя: 4955мм ³	1	4
7	Блок моніторингу	Напруга живлення: DC 3.3В Покриття сигналу: 30футів Розмір: 26,9 мм × 13 мм × 2,2 мм Вага: 1г	1	5

До приладу, що проектується не висувається спеціальних вимог щодо освітлення, вологості повітря, тиску та температури.

Функціональну схему приладу наведено на рис.2.1.

6.2 Характер взаємодії приладу в системі «людина – об'єкт»

Засоби отримання інформації про роботу плати та приладу представлені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Взаємодія об'єкту в системі «людина – об'єкт»

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	Кількість
1.	Блок контролю	Сигналізатор підключення плати – діод BIR-BM13J4G	1
		Індикатор часу - <u>Секундомір-таймер SCM-99min</u>	1

Діоди відображають інформацію про підключення приладу, таймер – час роботи приладу.

6.3 Електромагнітні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Причини, наслідки і способи усунення небезпек наведено у табл. 6.3 – 6.5.

Таблиця 6.3 – Основні небезпеки які створюються в технологічному процесі

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Індуктор	Магнітне поле	Недостатня захищеність елементів приладу від електромагнітного поля; довготривала робота приладу	Збій роботи обладнання; негативний вплив магнітного поля на пацієнта

Таблиця 6.4 – Реальні та нормативні фактори небезпеки, які створюються в технологічному процесі

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Магнітне поле	30мТл	50мТл (до 10 хв роботи)

Таблиця 6.5 – Заходи з забезпечення охорони праці конкретного приладу

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Екранування приладу та його елементів. Матеріал: пермалой (електромагнітна проникність $10 \times 10^3 - 100 \times 10^3$)	Обмеження проникності магнітного поля за межі приладу
		Блокуючі контакти: секундоміртаймер	Електричне блокування пристрою після 10 хвилин роботи
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань безпеки при експлуатації приладу
3.	Режимні	Непередбачені	
4.	Експлуатаційні	Повірка приладу та калібрування	Достовірність інформації
5.	ЗІЗ	Згідно посади користувача	Індивідуальний захист

6.4. Небезпека ураження електричним струмом

Основною небезпекою є контакт людини зі струмопровідними елементами або елементами, що знаходяться під напругою(табл. 6.6-6.8).

Таблиця 6.6 – Основні небезпеки електричного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Блоки підсилення, генерації та індикації сигналу	Змінний струм	Відсутність корпусу або відкрита кришка корпусу	Ураження електричним струмом

Таблиця 6.7– Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Максимальний струм	1 А	10мА

Таблиця 6.8 – Заходи з забезпечення безпеки роботи міографа

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні засоби		
1.1	Блоки підсилення, генерації та індикації сигналу	Ізоляція струмопровідних частин, STDUCT	Уникнення контакту зі струмопровідними частинами;
1.2	Блок живлення	Водонепроникний корпус	Уникнення контакту з водою
3.	Режимні заходи	Перевірка несправностей тільки у відключеному стані;	Уникнення контакту з елементами під напругою;
4.	Експлуатаційні заходи	Перевірка на цілісність ізоляції;	Забезпечення безпечної роботи з об'єктом;
5.	ЗІЗ	Не передбачені;	

Висновки до розділу 6

У даному розділі дипломного проекту були розглянуті небезпечні або шкідливі виробничі фактори, що створюються конструкцією опромінювача, а також заходи їх усунення з точки зору охорони праці. На підставі вивченої літератури з даної проблеми, були зазначені оптимальні характеристики конструкції, підібрано оптимальні методи з усунення небезпек та враховано необхідність проведення технічних, організаційних та інформаційних заходів для забезпечення безпеки пацієнта та обслуговуючих установку працівників.

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						56
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В ході даної роботи було проаналізовано поширеність захворювань щитоподібної залози на території України та методи терапії гіпотиреозу. Було обрано метод опромінення щитоподібної залози електромагнітним полем.

На основі принципів методу було сформовано блок-схему електромагнітного опромінювача щитоподібної залози. Описано принцип її роботи та складові, обрано параметри магнітного поля. Було визначено, що опромінювач доцільно вдосконалити визначенням параметрів індуктора для щитоподібної залози та використанням ключового режиму роботи транзисторів кінцевого каскаду у підсилювачі потужності з індуктивним навантаженням.

З урахуванням локалізації та розмірів поля опромінення було визначено та обраховано параметри індуктора спеціалізованого для даної системи терапії.

Було розглянуто імпульсний аналого-цифровий формувач струму індукторів як можливість вдосконалення вже існуючих підсилювачів, що використовуються в апаратах магнітотерапії. Було описано його роботу та численно доведено його перевагу. Було визначено що коефіцієнт корисної дії формувача 51.52% ефективніший порівняно з ККД формувача з аналогічними амплітудно-часовими параметрами 6.68%.

Була змодельована аналогова частина опромінювача в програмному середовищі Electronics Workbench. Приведені значення компонент кожної складової блоку генерації та характеристики окремих частин. З допомогою осцилографа в середовищі показані сформовані сигнали на різних етапах генерації, які в кінцевому виході з блоку генерації подаються на блок вибору сигналу потрібної для опромінення форми.

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						57
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Були розглянуті небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що створюються конструкцією опромінювача, а також заходи їх усунення з точки зору охорони праці. На підставі вивченої літератури з даної проблеми, були зазначені оптимальні характеристики конструкції, підібрано оптимальні методи з усунення небезпек та враховано необхідність проведення технічних, організаційних та інформаційних заходів для забезпечення безпеки пацієнта та обслуговуючих установку працівників.

					БМ62.11.2505.1191	Лист
						58
Изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Кравченко В. І. Йодний дефіцит як причина високої розповсюдженості тиреоїдної патології серед населення регіонів, що постраждали після аварії на ЧАЕС / В. І. Кравченко. // Журнал АМНУ України. – 2016. – С. 222–229.
2. Аналіз поширеності тиреоїдної патології та захворюваності на неї серед населення Київської області та України за 2007–2017 рр. / В. І. Ткаченко, Я. А. Максимець, Н. В. Видиборець, О. Ф. Коваленко. // «Міжнародний ендокринологічний журнал». – 2018. – С. 272–277.
3. ПАШКОВСЬКА Н. В. ЛІКУВАННЯ ГІПОТИРЕОЗУ ЗГІДНО ІЗ СУЧАСНИМИ КЛІНІЧНИМИ НАСТАНОВАМИ / Н. В. ПАШКОВСЬКА. // Клиническая тиреоидология. – 2016. – №6. – С. 48–58.
4. Stott D.J., Rodondi N., Kearney P.M., et al. Thyroid hormone therapy for older adults with subclinical hypothyroidism. New Engl. J. Med. 2017; 376(26): 2534-2544. Doi: 10.1056/NEJMoa1603825. Epub 2017 Apr 3
5. The use of LTT4 + LTT3 in the treatment of hypothyroidism: guidelines of the European Thyroid Association The European Thyroid Association Taskforce: Wilmar M. Wiersinga, Leonidas Duntas, Valentin Fadeyev, Birte Nygaard, Mark Vanderpump Eur. Thyroid J. 2012; 2.
6. Куликов А.Г., Сергеева Г.М. Клиническое применение общей магнитотерапии. Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2008;3:40-44.
7. КОРРЕКЦИЯ ДИСФУНКЦИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СВЕРХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ / Кіхтенко І. М., Хворостенко М. І., Хворостенко Ю. М., Санік В. Й.. // Наукові праці. Техногенна безпека. – 2012. – №191. – С. 152–156.

8. Зубчук В. АПАРАТ ДЛЯ Магнітотерапія МС-92м / В. Зубчук, Л. Худякова. // Радіоаматор. – 2020. – №12. – С. 18–19.

9. Электроника и МПТ [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу:
[http://portal.tpu.ru/SHARED/g/GREBENNIKOVVV/umm_disciplines_e_mpt_1/T
ab/4_electronics_microproc_Stud_Inductors.pdf](http://portal.tpu.ru/SHARED/g/GREBENNIKOVVV/umm_disciplines_e_mpt_1/Tab/4_electronics_microproc_Stud_Inductors.pdf).

10. Катушки-Трансформатори [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу:
[https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/187282/mod_resource/content/1/Катушки-
Трансформатори.pdf](https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/187282/mod_resource/content/1/Катушки-Трансформатори.pdf)

11. Делавар-Касмаи М., Зубчук В.И., Шлыков В.В. Высокоэффективный оконечный усилитель для индуктивной нагрузки //Электроника и связь, 1999,№ 6, Том 2. - с. 105 - 112.

12. Делавар-Касмаи М. СИСТЕМА АДАПТИВНОЙ МАГНИТОТЕРАПИИ С ПУЛЬСОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ : дис. канд. техн. наук : 05.11.17 / Делавар-Касмаи Мохаммад – Киев, 2017. – 193 с.